

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Stadler, Leopold; Brudy-Zippelius, Thomas

Verfahrensentwicklung für die numerische Langfristsimulation im Flussbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/104384>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Stadler, Leopold; Brudy-Zippelius, Thomas (2017): Verfahrensentwicklung für die numerische Langfristsimulation im Flussbau. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Wasserbauliche Herausforderungen an den Binnenschifffahrtsstraßen. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 67-72.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Verfahrensentwicklung für die numerische Langfristsimulation im Flussbau

Dr.-Ing. Leopold Stadler, Bundesanstalt für Wasserbau

Dr.-Ing. Thomas Brudy-Zippelius, Bundesanstalt für Wasserbau

Einleitung

Zukunftsprognosen auf Grundlage von Modellen sind ein wichtiges Werkzeug der Ingenieurpraxis, um die Auswirkungen von Veränderungen an bestehenden Systemen abschätzen zu können. Im Flussbau gehören z. B. der Bau und die Dimensionierung von Buhnen und Leitwerken zu typischen Aufgaben deren Auswirkungen auf das verkehrswasserbauliche System mit gegenständlichen oder numerischen Modellen untersucht werden müssen. Mehrdimensionale hydrodynamisch-numerische Modelle (HN-Modelle) werden seit langem in Kombination mit morphodynamischen Modellen eingesetzt, um die Auswirkungen von Maßnahmen auf den Sedimenttransport an Binnenschifffahrtsstraßen zu untersuchen. Numerische Simulationen über sehr lange Zeiträume (numerische Langfristsimulationen) stellen jedoch weiterhin eine Herausforderung für die Ingenieurpraxis dar. Zentrales Problem ist, dass die zukünftigen hydraulischen Randbedingungen unbekannt sind und daher im Vorfeld künstlich generiert werden müssen. Um die Belastbarkeit der Aussagen zu erhöhen, müssen die Modelle mit vielen unterschiedlichen Randbedingungen durchgeführt werden und die Ergebnisgrößen über statistische Größen und Methoden (z. B. Bandbreiten, Trends oder Wahrscheinlichkeiten) beschrieben werden. Für ein solches Vorgehen sind performante numerische Verfahren notwendig, die es erlauben viele Rechenläufe effizient durchzuführen. Um dieses Ziel zu erreichen, arbeitet die BAW in einem aktuellen FuE-Projekt an der Entwicklung geeigneter numerischen Verfahren.

Grundlagen der Langfristsimulation

Die Aussagefähigkeit dieser meist zweidimensionalen numerischen Verfahren ist durch die recht einfachen zugrunde liegenden Transportmodelle, ihrem stark empirischen Charakter und der komplexen Parametrisierung beschränkt. Für zweidimensionale Modelle müssen zudem dreidimensionale Effekte (Sekundärströmung) über weitere empirische Ansätze parametrisiert werden, um den Einfluss von Krümmungen auf den Geschiebetransport abzubilden. Eine weitere Herausforderung für die Modellierung des Sedimenttransports ist die lückenhafte Datengrundlage, denn die Kornzusammensetzung des Untergrunds ist in der Regel nur an wenigen Messpunkten bekannt und unterliegt einer starken natürlichen Variabilität. Somit müssen die Daten entsprechend räumlich und zeitlich aufbereitet werden, um eine geeignete Anfangsbedingung für das numerische Modell zu erzeugen.

Aus den vorangegangenen Punkten resultiert, dass mit numerischen Modellen keine lokalen punktgenauen Aussagen der Sohlentwicklung über die Zeit möglich sind. Aus den Ergebnissen des numerischen Modells lässt sich jedoch beispielsweise eine räumlich gemittelte Sohlentwicklung ableiten, mit der der Einfluss von Maßnahmen in einem Untersuchungsbereich quantifiziert werden kann (Bild 1). So kann mit Hilfe der numerischen Langfristsimulation z. B. der langfristige Trend der Sohlentwicklung in einem Untersuchungsbereich erfasst werden. Durch diese Möglichkeit sind numerische Modelle ein wichtiges Werkzeug in der Ingenieurpraxis geworden.

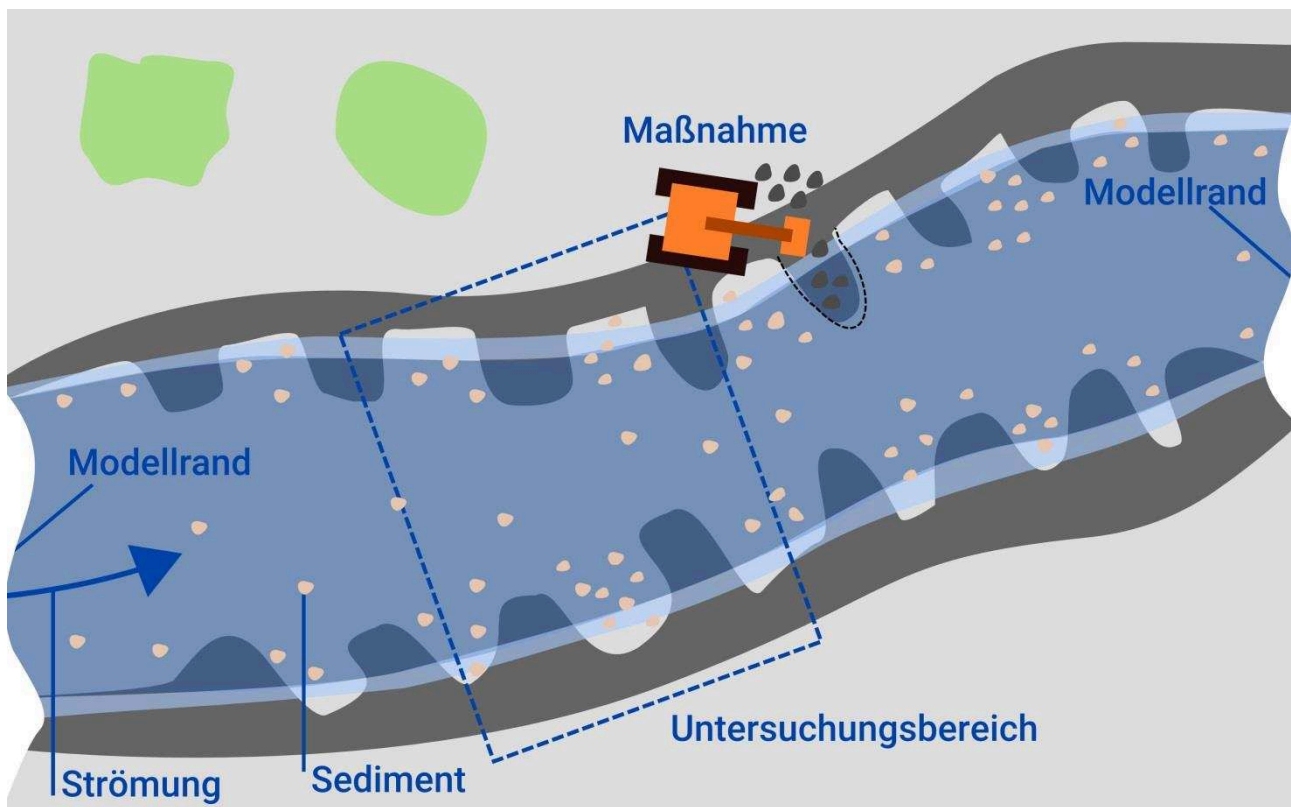


Bild 1: Vereinfachte Darstellung eines Flusses inklusive Regelungsmassnahme.

An dieser Stelle soll nicht grundsätzlich über die Qualität und Aussagefähigkeit der numerischen Modellierung diskutiert werden, vielmehr soll ein wichtiger Aspekt betrachtet werden, der nur allzu schnell außer Acht gelassen wird: Ein entscheidendes Problem bei der Prognose ist die Unsicherheit in den maßgeblichen treibenden Kräften eines Systems, den Randbedingungen. Für das HN-Modell müssen in der Regel die Abflüsse (oberstrom) und die Wasserstände (unterstrom) vorgegeben werden. Für das morphodynamische Modell muss der Sedimenteintrag bzw. -austrag quantifiziert werden. Für die Anwendung in der Ingenieurpraxis ist unklar, wie sich die Randbedingungen in den nächsten Jahren entwickeln werden. Es lassen sich jedoch zukünftige hydrologische Ganglinien, z. B. für Pegel Einzugsgebiete, synthetisch erzeugen. Aus dieser Vorgehensweise resultiert keine eindeutige Ganglinie für die Zukunft, sondern eine Vielzahl möglicher Realisationen. Im laufenden FuE-Projekt sollen die Auswirkungen dieser Vorgehensweise auf die Modellaussagen untersucht werden. Das Problem der künstlichen Ganglinien lässt sich an einem einfachen Beispiel konkretisieren. Bild 2 zeigt zwei künstlich generierte Abflusskurven für einen Betrachtungszeitraum an einem Flussabschnitt (Bild 1). Wenn mit beiden Randbedingungen jeweils eine Simulation durchgeführt wird und die Ergebnisse, hier die mittleren Sohlhöhen im Untersuchungsbereich, verglichen werden, führen die verschiedenen Randbedingungen zu unterschiedlichen Ergebnissen (Bild 2). Geht man davon aus, dass beide Ganglinien mit der gleichen Wahrscheinlichkeit auftreten, so sind beide Aussagen über die Entwicklung der mittleren Sohlhöhe gleich wahrscheinlich.

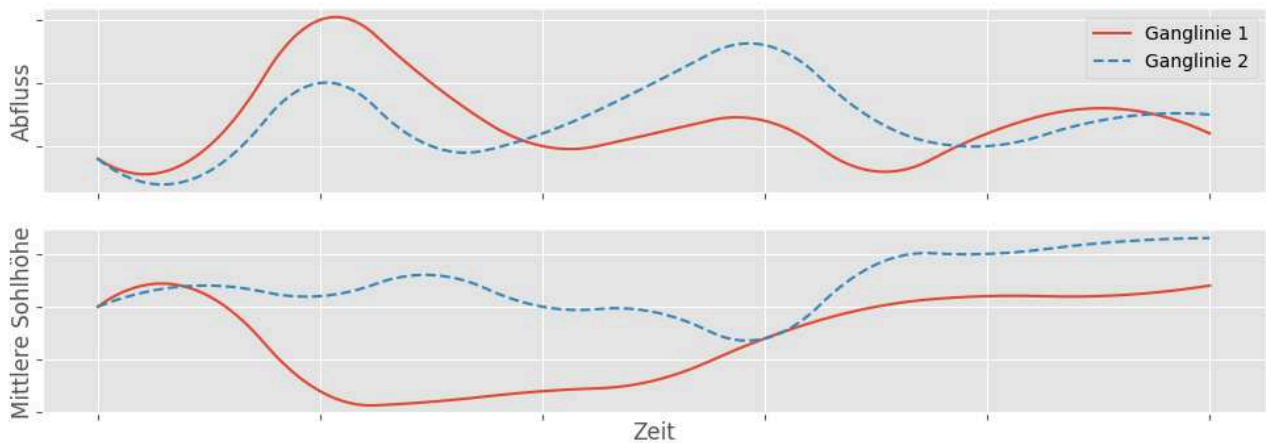


Bild 2: Vereinfachte Darstellung von zwei künstlich generierten Ganglinien und deren Auswirkung auf die mittlere Sohlhöhe im betrachteten Untersuchungsbereich.

Nach Durchführung von Rechnungen mit einer Vielzahl an synthetisch generierten Ganglinien resultiert als Ergebnis eine Bandbreite möglicher Resultate (Bild 3). Dabei können die Ergebnisse für eine Prognose mit unterschiedlichen statistischen Methoden ausgewertet werden.

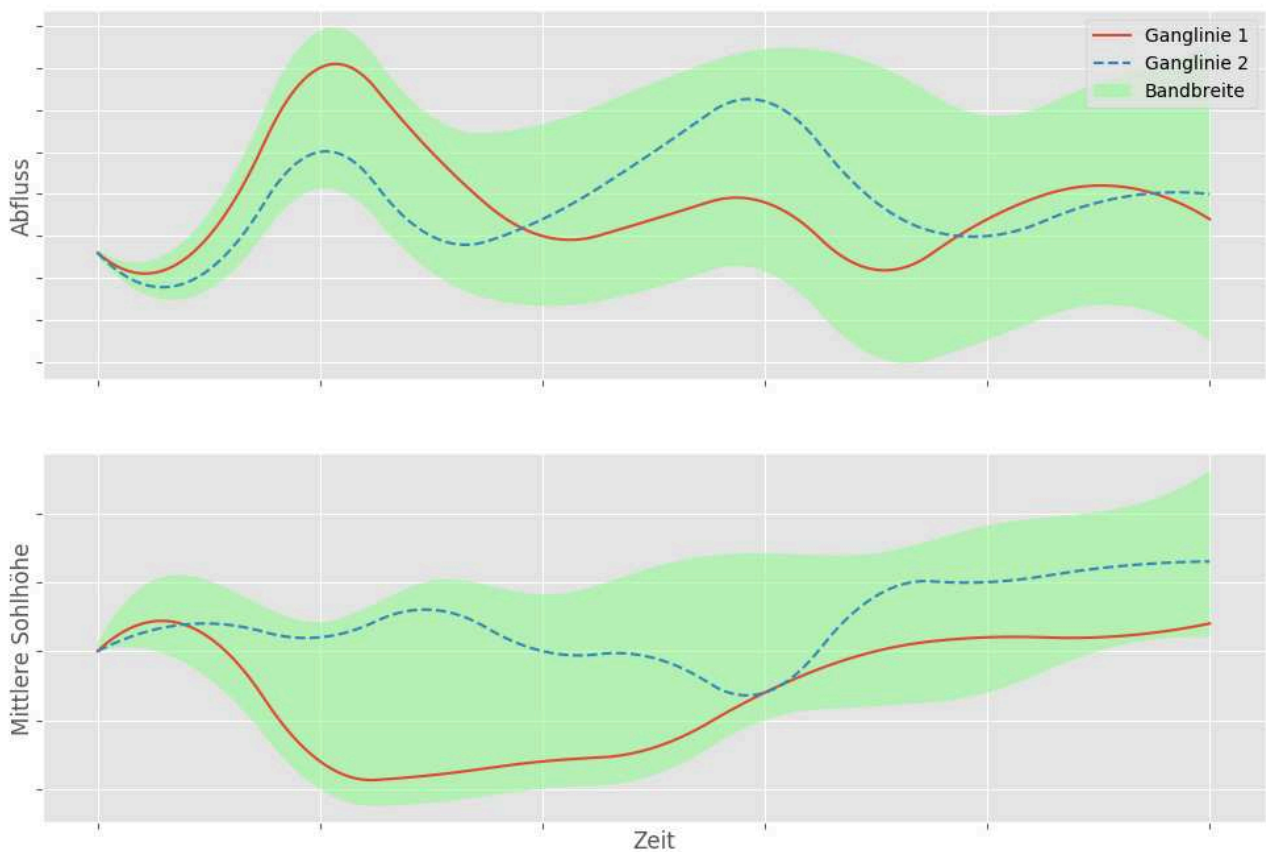


Bild 3: Vereinfachte Darstellung mehrerer künstlich generierter Ganglinien und die daraus resultierende Bandbreite für die Entwicklung der mittleren Sohlhöhe im betrachteten Untersuchungsbereich.

Aktueller Stand der Verfahrensentwicklung

Das zuvor dargestellte Konzept der Langfristsimulation klingt zunächst einfach. Wenn wir wissen wollen, wie sich die Gewässersohle in einem Streckenabschnitt in den nächsten Jahrzehnten entwickeln wird, müssen wir anstelle einer einzelnen Rechnung mit einer bestimmten Ganglinie (im Folgenden Szenario genannt) möglichst viele Rechnungen (Szenarien) mit unterschiedlichen synthetischen Ganglinien berechnen. Durch das Ausführen mehrerer Simulationen erzeugen wir unterschiedliche Ergebnisse, durch Aggregation erhält man bei der Auswertung eine Bandbreite.

Um anstelle einer einzelnen Rechnung dutzende von Rechnungen durchzuführen zu können, muss die eingesetzte Simulationssoftware jedoch extrem performant sein. Aus diesem Grund wird aktuell an einem neuen numerischen Verfahren gearbeitet, bei dem durch eine deutliche Steigerung der Zeitschrittweiten im Vergleich zu bisherigen Methoden die Simulationszeit verkürzt wird. Betrachtet man die physikalischen Zeitskalen, so hängt die mögliche Zeitschrittweite von HN-Modellen vereinfacht ausgedrückt von der Geschwindigkeit der Informationsausbreitung ab (Strömungsgeschwindigkeit und Wellengeschwindigkeit). Da sich das mittlere Strömungsfeld in Flüssen jedoch zeitlich nur langsam ändert, besteht hier großes Potential die bisherigen Zeitschrittweiten deutlich zu vergrößern, ohne nennenswerte Einbußen in der Genauigkeit hinnehmen zu müssen.

Erste Studien mit dem an der BAW entwickelten Verfahren Dune-SWF (**S**hallow **W**ater **F**lows) haben diese Annahme für die HN-Modellierung bestätigt. Dune-SWF basiert auf der Tool-Box Dune (Blatt et. al, 2016) und dem Dune-Modul PDELab (Bastian et. al, 2010). Die Abkürzung Dune steht für Distributed and Unified Numerics Environment. Für die Untersuchung wurde an zwei Streckenabschnitten ein Vergleich mit Naturdaten und anderen numerischen Verfahren durchgeführt. Dabei zeigte sich in den Ergebnissen für Dune-SWF sogar eine deutlich geringe Abhängigkeit von der gewählten Zeitschrittweite als bei anderen numerischen Verfahren. Nur im Bereich der Überflutungsflächen im Vorland kam es zu kleineren Abweichungen. In der Modellierung von Flüssen können für die Langfristsimulation also deutlich größere Zeitschritte als bisher üblich verwendet werden.

Durch die Verwendung von Dune konnte die Entwicklungszeit deutlich reduziert werden. So beinhaltet der Kern von Dune zum Beispiel bereits die notwendige Parallelisierung für den Einsatz auf Großrechnern. Durch eine automatische Gebietszerlegung kann das ursprüngliche Rechengebiet in einzelne Teilgebiete zerlegt werden. Für große Systeme wurde bereits mit einer Zerlegung in mehr als 2400 Teilgebiete gerechnet. Das bedeutet, dass mehr als 2400 Rechenkern zur Lösung des Problems verwendet wurden. Bild 4 zeigt den Speedup, der durch die Verwendung von mehr als einem Rechenkern für ein HN-Modell der Donau mit ca. 2.6 Mio. Elementen erzielt wird. Im Vergleich zum idealen linearen Verlauf (schwarz eingezeichnet), zeigt die Grafik, dass bis zu einer Anzahl von ca. 1400 Rechenkernen eine sehr gute Skalierung erreicht wird. Durch den Einsatz auf den BAW-Hochleistungsrechnern können zudem mehrere Rechnungen (Szenarien) unabhängig voneinander parallel berechnet werden. Die tatsächlichen Rechenzeiten hängen von der gewählten Gitterauflösung und der Abflusssituation ab. Aktuell kann Dune-SWF um bis zu Faktor 1000 schneller als die Realzeit rechnen. Durch die Weiterentwicklung von Dune-SWF sollen die Rechenzeiten noch weiter verkürzt werden.

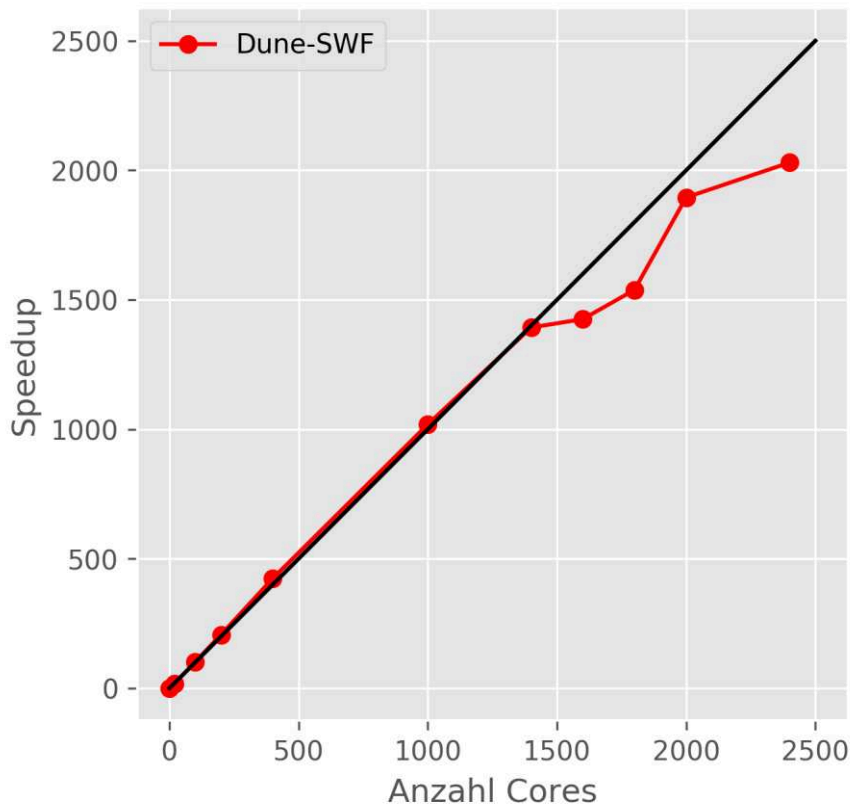


Bild 4: Speedup von Dune-SWF für ein HN-Modell der Donau mit ca. 2,6 Mio. Elementen. In schwarz hinterlegt, der ideale lineare Verlauf.

Ausblick

Nach den vielversprechenden Ergebnissen von Dune-SWF in der HN-Modellierung wird die Software im nächsten Schritt um ein Modul für die Modellierung des Sedimenttransports erweitert. Im Rahmen dieser Arbeiten soll unter anderem untersucht werden, wie stark die resultierenden Bandbreiten von den eingesetzten Transportansätzen für die morphodynamische Modellierung abhängen. Es wird angestrebt durch möglichst einfache und robuste Ansätze die Rechenzeiten für die Langfristsimulation zu optimieren.

Literatur

- Bastian, P., Heimann, F., Marnach, S. (2010): Generic implementation of finite element methods in the Distributed and Unified Numerics Environment (DUNE). *Kybernetika*, Volume 46, Number 96, S. 294-315.
- Blatt, M., Burchardt, A., Dedner, A., Engwer, C., Fahlke, J., Flemisch, B., Gersbacher, C., Gräser, C., Gruber, F., Grüninger, C., Kempf, D., Klöfkorn, R., Malkmus, T., Müthing, S., Nolte, M., Piatkowski, M., Sander, O. (2016): The Distributed and Unified Numerics Environment, Version 2.4. *Archive of Numerical Software*, Volume 4, Number 100, S. 13 – 29.
- Kellermann, J. (2014): Einfluss von hydrologischen Ganglinien auf Berechnungsergebnisse eines ein-dimensionalen Feststofftransportmodells an der Donau zwischen Straubing und Hofkirchen. In *Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen* Nr. 50, 2014, S. 217-227.

